

ПОВЫШЕНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО ЛАЗЕРОМ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ ПРОВЕДЕНИЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА

Ключевые слова: лазерная наплавка, NiCrBSi покрытия, микроструктура, микротвердость, износостойкость, теплостойкость, отжиг, трение скольжения.

Целью настоящей работы явилось исследование возможности повышения лазерно-термической обработкой [1, 2] износостойкости NiCrBSi-покрытия в условиях значительного фрикционного нагрева, реализуемого в условиях трения скольжения с повышенными (более 5 м/с) скоростями.

Методика проведения исследований

Материалом для покрытий служил самофлюсующийся порошок системы NiCrBSi марки ПГ-10Н-01 состава, % мас: 18,2 % Cr; 3,3 % В; 4,2 % Si; 0,92 мас. % С; 2,6 % Fe; остальное – Ni.

Наплавку порошков на пластины из стали Ст3 проводили с использованием СО₂-лазера. Часть образцов подвергали комбинированной лазерно-термической обработке, заключающейся в проведении после наплавки отжига при температуре 1025 °С (выдержка 1–2 ч) с последующим охлаждением в вакуумной печи.

Микротвердость измеряли на микротвердомере Shumadzu HNV-G21DT. Микроструктуру изучали с применением электронного сканирующего микроскопа Tescan VEGA II XMU, оборудованного волнодисперсионным (Inca Wave 700) и энергодисперсионным (Inca Energy 450 XT) микроанализаторами.

Трибологические испытания проводили на лабораторной установке по схеме палец – диск при скольжении торцевых поверхностей наплавленных образцов по вращающемуся диску из стали X12M на воздухе

при нагрузке $N = 98$ Н (рис. 1). Средние скорости скольжения составляли $V = 6,1$ м/с и $V = 9,3$ м/с, время проведения испытаний $t = 22$ мин и $t = 9,5$ мин. Продолжительность испытания определялась линейным износом, который не превышал 0,7 мм толщины покрытия. Кроме того, определяли потери массы образцов при изнашивании и силу трения и рассчитывали интенсивность изнашивания.

Обсуждение полученных результатов

Наплавленное покрытие ПГ-10Н-01 характеризуется достаточно равномерным распределением структурных составляющих по всей толщине [3]. Металлическую основу покрытия составляет γ -твердый раствор на основе Ni и эвтектика, состоящая из γ -твердого раствора и фазы Ni_3B [2, 3]. Упрочняющими фазами покрытия ПГ-10Н-01 являются Cr_7C_3 твердостью 1650–1800 HV и CrB твердостью 1950–2400 HV. Микротвердость покрытия составляет 990 HV 0,05.

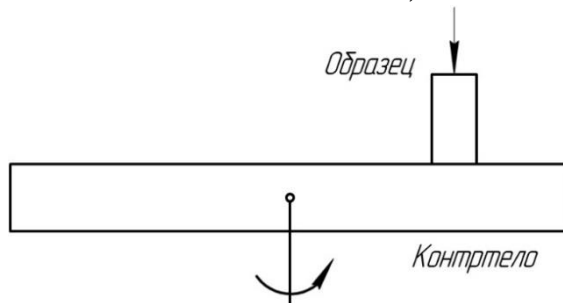


Рис. 1. Схема трибологического нагружения «палец – диск»

При нагреве до 1025 °С и последующем охлаждении на воздухе в структуре лазерного покрытия образуются крупные частицы боридов CrB и карбидов Cr_7C_3 [1, 2]. Появляется также новая фаза – силицид никеля Ni_3Si , входящая в состав тройной эвтектики $\gamma + \text{Ni}_3\text{B} + \text{Ni}_3\text{Si}$. Уменьшение скорости охлаждения от температуры отжига (охлаждение в вакуумной печи по сравнению с охлаждением на воздухе) в процессе комбинированной обработки приводит к формированию заметно более крупных выделений упрочняющих фаз CrB и Cr_7C_3 , образующих высокопрочный износостойкий каркас. После замедленного охлаждения с вакуумной печью от температуры отжига средняя микротвердость покрытия составляет 920 HV 0,05, а абразивная износостойкость покрытия возрастает в 1,9 раза по сравнению с более ускоренным охлаждением на воздухе [1, 2]. Повышение продолжительности отжига в вакуумной печи до двух часов способствует повышению микротвердости покрытия до 1050 HV 0,05.

Установлено, что потери массы, интенсивность изнашивания и линейный износ образцов с покрытиями ПГ-10Н-01 после комбинированной обработки снижаются в 1,8 раза по сравнению с соответствующими

характеристиками наплавленного покрытия при испытаниях со скоростями 6,1 и 9,3 м/с. Это свидетельствует о том, что дополнительный высокотемпературный отжиг наплавленного покрытия обеспечивает значительный рост фрикционной теплостойкости покрытия, несмотря на сопоставимые значения микротвердости покрытий после наплавки и комбинированной обработки.

Комбинированная обработка, снижающая интенсивность изнашивания, не улучшает антифрикционных свойств наплавленного покрытия – более низкий коэффициент трения не достигается, напротив, наблюдается даже небольшой рост среднего коэффициента трения отожженного покрытия.

Заключение

В работе впервые показано, что комбинированная обработка, включающая лазерную наплавку и последующий высокотемпературный отжиг, обеспечивает снижение интенсивности изнашивания и линейного износа в 1,8 раза в условиях трения скольжения на воздухе при скоростях скольжения 6,1 и 9,3 м/с покрытия ПГ-10Н-01. Таким образом, комбинированная лазерно-термическая обработка повышает фрикционную теплостойкость хромоникелевого покрытия. Повышение износостойкости связано с формированием в процессе отжига лазерного наплавленного покрытия крупных упрочняющих фаз – боридов хрома CrB и карбидов хрома Cr₇C₃.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России по теме «Структура» № 01201463331 и в рамках государственного задания ИМАШ УрО РАН по теме № 01201375904.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2492980. Способ получения теплостойкого покрытия / А. В. Макаров [и др.]. Оpubл. в БИМП, 2013. № 26.
2. Макаров А. В. Формирование износостойкого хромоникелевого покрытия с особо высоким уровнем теплостойкости комбинированной лазерно-термической обработкой / А. В. Макаров [и др.] // МиТОМ. 2015. № 3. С. 39–46.
3. Вихретоковый контроль твердости, износостойкости и толщины покрытий, полученных методом газопорошковой лазерной наплавки / А. В. Макаров [и др.] // Дефектоскопия, 2009. №11. С. 68–78.